

文章编号: 1674—8247(2023)02—0048—05

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2023.02.010

基于 Petri 网的单线铁路车站会让系统

张 博

(中铁通信信号勘测设计院有限公司, 北京 100036)

摘 要:单线铁路车站会让过程的安全性和高效性一直以来是研究的重点。本文引入离散事件系统的建模工具 Petri 网,建立了单线铁路车站会让的综合模型,采用形式化验证的方法仿真模拟列车在站内会让的过程。研究成果可为单线铁路列车站内运行计划提供安全验证和事故预警。

关键词:单线铁路;时延 Petri 网;列车会让;故障预警

中图分类号: U284.3

文献标识码: A

Avoidance System Based on Petri Net for Single-track Railway Station

ZHANG Bo

(China Railway Communication and Signal Survey and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100036, China)

Abstract: The safety and efficiency of the avoidance in station of single-track railway has always been the focus of research. In this paper, Petri net, a modeling tool of the discrete-event system, was introduced to establish a comprehensive model of avoidance in single-track railway station, and the formal verification method was used to simulate the process of avoidance of trains in a station. The research results can provide safety verification and accident warning for the train operation planning of a single-track railway station.

Key words: single-track railway; latency Petri net; train avoidance; fault warning

单线铁路指区间内只有一条正线的铁路,在同一区间或闭塞分区内,同一时间只允许一列车运行。车站是对向行驶的列车交会和同向行驶的列车越行的场所。闭塞制式主要采用半自动闭塞和站间自动闭塞,适用于有交通需求但运输效率较低的地区,以及受地质环境和施工技术限制现阶段不满足复线铁路修建条件的情况。单线铁路的修建要综合考虑其人口、经济、城市规划、地质环境、资金和周边线路配置。

Petri 网因其良好的建模特性和验证严谨性被广泛应用于铁路领域,是研究单线铁路运行过程很好的工具。朱雷鹏^[1]研究了我国单线铁路实际运营条件,分析了国内外单线铁路运力提升改造的方法,并探讨了其在我国单线铁路能力提升的可适性;王宏刚提出

一种混合 Petri 网模型,针对其运行过程提出了形式化描述,建立了列车运行调度两种故障模型:设备故障、设备维修异常^[2];针对列车运行计划安全性相关问题,程慕采用 Petri 网系统建模方法以及基于此模型预测的列车运行调整算法进行了研究^[3];曹峰^[4]主要研究单线铁路调度指挥优化问题,旨在提升单线铁路列车运行过程冲突疏散能力及线路死锁提前防护手段;唐滔针对车间作业调度提出用 Petri 网基本模型来建立单件车间作业调度模型,用遗传算法来优化车间作业调度问题,研究了在列车准时性优先的情况下如何避免列车发生冲突等问题^[5];文献^[6]、文献^[7]结合既有列车运行调度方法和手段,利用 Petri 网为工具,从结构有界性、部分守恒性、灵活性等离散性质

收稿日期:2022-04-11

作者简介:张博(1984-),男,高级工程师。

引文格式:张博. 基于 Petri 网的单线铁路车站会让系统[J]. 高速铁路技术,2023,14(2):48-52.

ZHANG Bo. Avoidance System Based on Petri Net for Single-track Railway Station[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(2):48-52.

等方面对模型进行判断和验证。

本文主要研究单线铁路列车在车站会让的场景,以时延 Petri 网为工具建立起单线铁路典型车站的综合模型,仿真验证列车在站内通过及会让的全部运行过程;本文的会让仿真模拟系统,可用于验证列车在单线铁路站内运行计划的安全性。研究成果可为单线铁路车站列车安全会让和安全运行提供新的方法和思路。

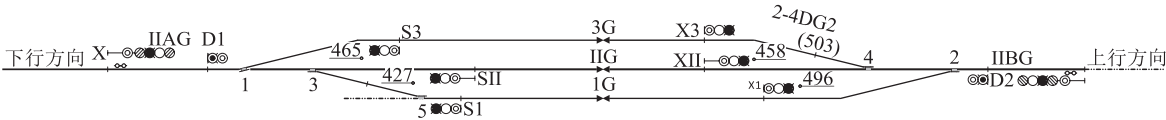


图 1 单线铁路典型车站平面图

2-4DG、2-4DG2、IIBG 6 个轨道区段。轨道区段和股道都是列车在站内运行过程中占用的资源。列车在站内走行的过程为进路,一条进路包含多个区段,进路声明后该进路的资源在这一时间只会被这一列车所使用,直到依次出清这些资源。以下行正线通过进路为例,该进路依次经过的资源有 IIAG、1-3DG、II G、2-4DG、IIBG;该进路可以拆分成两部分:X 进站到 II G 的接车进路和 II G 到 S 进站的发车进路。当正线的接车进路被声明后,IIAG、1-3DG、II G 不会被其它的进路声明使用,直到这些资源出清。

建立单线铁路会让综合模型,如图 2 所示。该模型由 6 条进路组成,II G 下行方向接车进路在模型中开始的库所为 X_{II} ,当轨道区段 IIAG、1-3DG、II G 的库所均被标记时,表示这些资源都是空闲状态,II G 的接车进路可以声明。此时状态变迁 t_{XII} 使能并带走库所 X_{II} 、IIAG、1-3DG 和 II G 的托肯,使能的同一时间发射一个托肯给库所 $X_{II1-begin}$,表示列车在运行 II G 的接车进路,与接车进路相关的资源不可以被分配给其它进路,表现在网结构中为这些资源不被标记。变迁 $t_{release-IIA}$ 的延时表示列车出清 IIAG 区段的时间,当网结构运行完这一时间,变迁 $t_{release-IIA}$ 发射一个托肯给库所 P_9 ,同时带走库所 $X_{II1-begin}$ 的托肯并归还托肯给库所 IIAG,表示该轨道区段 IIAG 被列车出清,此时 IIAG 空闲可被别的进路使用。该进路库所 1-3DG 和 II G 同理。当网结构中变迁 $t_{release-1-3DG-D}$ 延时用尽时,变迁使能发射带走库所 P_9 的托肯同时返还一个托肯给库所 1-3DG 和 P_{10} 。此时 II G 的接车进路结束,库所 X_{II} 、IIAG 均被标记,可以被下行方向其它股道接车进路声明使用。当列车在 II G 股道停留时间结束后,即网结构中变迁 $t_{release-IIG}$ 的延时耗尽并使能发射后,库所 X_{II2} 被标记。

1 单线铁路会让模型

本文采用时延 Petri 网模型, Petri 网 3 种基本元素库所、变迁延时和托肯在本文中分别对应于轨道区段、列车出清对应轨道区段的时间和列车。某单线铁路车站平面图如图 1 所示,

图中车站由 3 个股道组成,正线股道 II G 和双方向停车股道 1G 和 3G,站内有 IIAG、1-3DG、5DG、

如果此时库所 2-4DG 和 II B 被标记,表示轨道区段 2-4DG 和 IIBG 处于空闲状态,II G 发车进路可以进行,后续过程同接车进路。

单线铁路会让综合模型中的关键库所和变迁含义如表 1 所示,表中的物理含义指库所被标记和变迁延时的意义。

表 1 模型中关键库所/变迁含义表

库所/变迁	物理含义	库所/变迁	物理含义
X_{ij}	下行方向股道 i 进路的第 j 部分	S_{ij}	上行方向股道 i 进路的第 j 部分
$X_{ij-begin}$	下行方向股道 i 进路的第 j 部分开始	$S_{ij-begin}$	上行方向股道 i 进路的第 j 部分开始
X_{ij-end}	下行方向股道 i 进路结束	S_{i-end}	上行方向股道 i 进路结束
t_{Xij}	下行方法股道	t_{Sij}	列车选择停靠在站台 P_i 的第 j 进路开始声明
3G	3G 空闲(其余同理)	$t_{release-3G}$	列车在股道 3G 的停车时间

2 模型仿真与验证

两列列车在站内会让的 3 种基本场景如图 3 所示,利用模型仿真验证 3 种场景下列车会让的安全性。通过模型的动态过程进行站内会让计划可行性判断,根据死锁结束的点来判断站内运行计划不可行的地方,提出修改意见。需要说明的是,涉及本模型的列车运行计划都可以进行仿真模拟,也可模拟 3 列列车会让的情形,本文以图 3(a) 的场景为例进行说明。

2.1 数据支持

为方便计算,将列车出清每个轨道区段时间设置为 1 min,输入的列车会让计划如表 2 所示。给出的单线铁路站内列车会让计划共涉及 3 个会让组,6 辆

2.2 车站会让计划安全性验证

图 3(a) 中的会让场景涉及下行方向 3G 的接发车进路以及上行方向 II G 的通过进路, 选取图 2 模型中相关的进路及库所资源, 将其输入 Petri 网仿真软件 TINA 中。将表 2 中给定的时间因素对应于模型中的

变迁延时, 选取 1 s 为 1 个单位时间, 则列车出清股道的变迁延时为 1 个单位时间, 出清轨道区段的时间为 1 个单位时间, 01 车在 3G 的到发时间差为 3 个单位时间。图 3(a) 模型的仿真界面如图 4 所示。

选取 01 车的进站时间作为时间基准线, 其余列

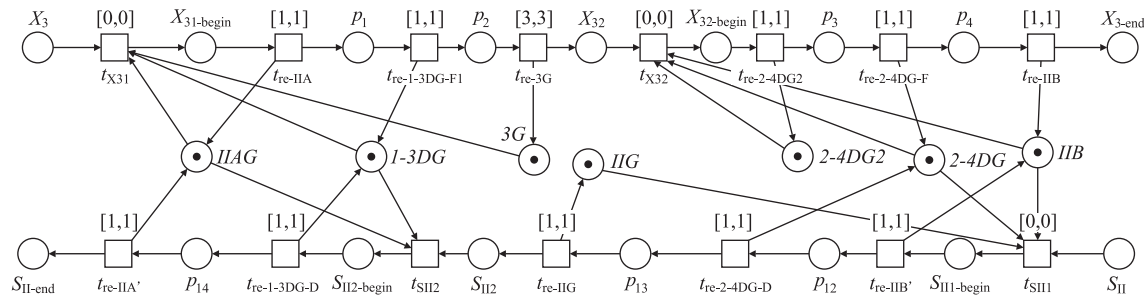


图 4 会让模型仿真界面图

车进站时间与时间基准线的差值先按照单位时间计算方法得出数值, 并添加到代表列车进站库所 X_{i1}/S_{i1} , $i \in \text{II}, 3$ 所连接的变迁延时中, 让各列车的出发时间差在模型中体现出来。

将各轨道区段的出清时间与相应的变迁延时一一对应, 赋予图 4 模型的变迁延时中。使用时延 Petri 网的仿真软件 TINA 逐步进行模型仿真, 找到模型中进路与计划不一致的情况, 如图 5 所示。

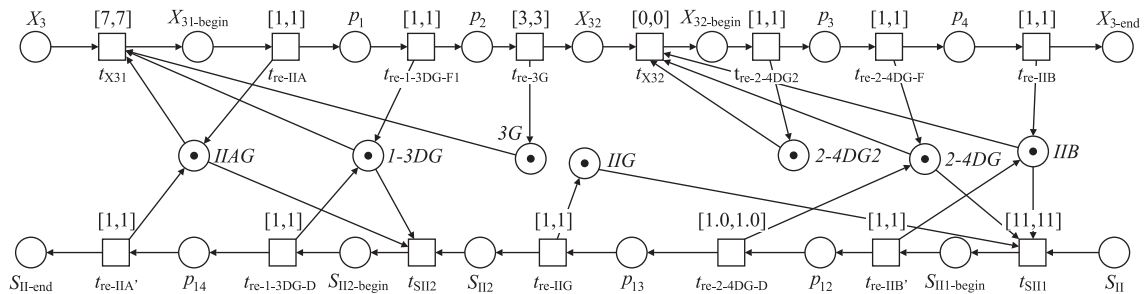


图 5 模型中陷入死锁的进路图

2.3 结果分析

通过观察图 5 中陷入死锁的模型, 下行方向通过 3 股道进路的第二部分的库所 X_{32} 被标记, 按照计划此时列车应该进行这一进路的声明, 但由于此时库所 2-4DG 不被标记, 导致变迁 t_{X32} 不使能。该状态的物理含义为: 轨道区段 2-4DG 不空闲, 3G 的发车进路要声明该轨道区段不可行。表 2 中会让组 2 的两列列车的会让计划不安全, 需要对会让组 2 的站内列车会让计划进行调整, 调整后的列车运行计划如表 3 所示。

通过将修改后的 04 车进站时间一一赋予模型中, 并重新进行模型仿真, 得出模型未再陷入死锁的进站时间范围为 8:00 到 10:00, 如图 6 所示。此时站内所有会让计划可行。

表 3 调整后可行的站内列车会让计划表

会让组	方向	车次号	进站时间/ (min: s)	到达 股道	到/发时间/ (min: s)	离站时间/ (min: s)
2	下行	03	7:00	3G	9:00/12:00	15:00
	上行	04	10:00(提前 1/min 进站)	II G	12:00/13:00	15:00

3 结束语

本文针对单线铁路站内会让安全性问题, 创新性地引入离散事件系统的建模工具 Petri 网, 基于某单线铁路车站平面图建立起单线铁路会让系统 Petri 网模型, 该模型可以对站内包括会让场景在内的所有列车运行过程进行安全性验证。通过对该模型的典型场

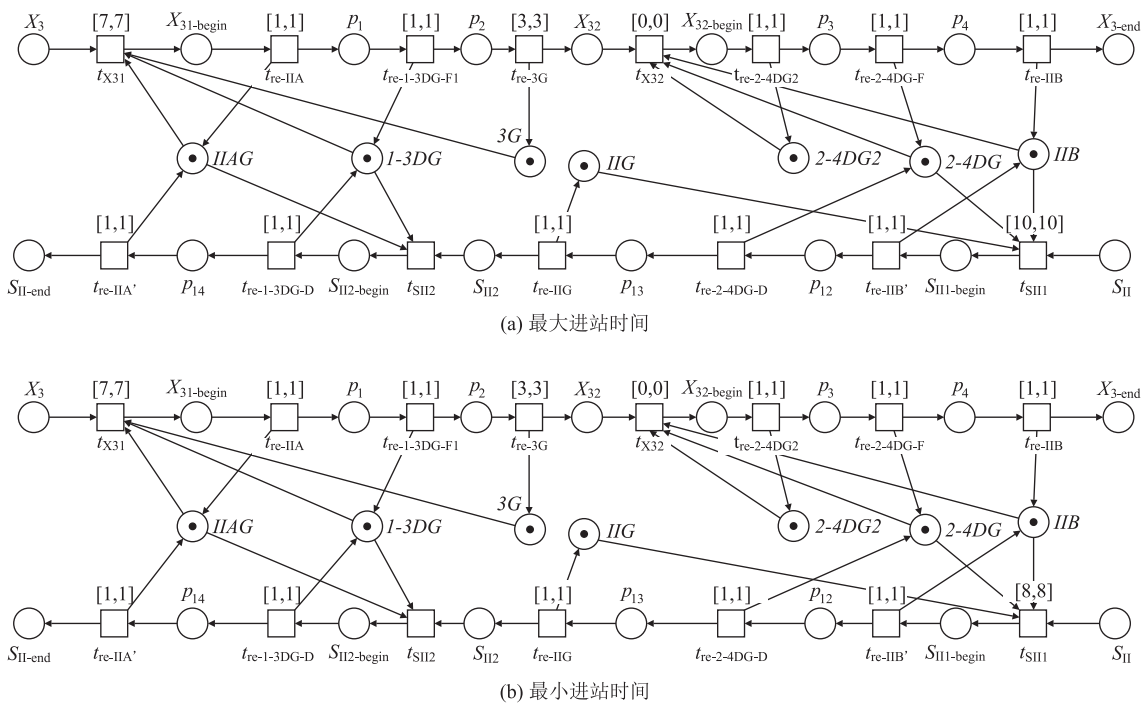


图 6 修改后的模型仿真结果图

景进行仿真验证,计算出站内会让计划的安全和可行性;会让计划不可行时模型会陷入死锁,对死锁时网结构的状态进行分析可发现运行计划的问题所在,可对其提出调整建议。本文的研究成果可为单线铁路的列车运行计划安全性提供验证和保障。

参考文献:

[1] 朱雷鹏. 基于元胞自动机的单线铁路准移动闭塞仿真研究: 以青藏铁路格拉段为例 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
ZHU Leipeng. Simulation Research on Moving-like Block of Single-track Railway Based on Cellular Automata-A Case Study of Golmud Lhasa Section of Qinghai-Tibet Railway [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2021.

[2] 王宏刚. 复线列车运行调度的层次 Petri 模型及仿真 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23 (12): 2793 – 2798, 2804.
WANG Honggang. Hierarchical Petri Net Model and Simulation for Train Traffic Control on Double Railway [J]. Journal of System Simulation, 2011, 23 (12): 2793 – 2798, 2804.

[3] 朱子轩, 鲁工圆, 何必胜, 等. 单线铁路网络列车运行智能调度仿真研究 [J]. 计算机仿真, 2019, 36 (5): 194 – 201.
ZHU Zixuan, LU Gongyuan, HE Bisheng, et al. Simulation Research on Intelligent Dispatching of Train Operation on Single-track Railway

Network [J]. Computer Simulation, 2019, 36 (5): 194 – 201.

[4] 曹峰. 计算机联锁系统安全评估分析与研究 [J]. 高速铁路技术, 2015, 6 (4): 1 – 3.
CAO Feng. Analysis and Research on Safety Assessment of Computer Interlocking System [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6 (4): 1 – 3.

[5] 唐滔. 基于 Petri 网和遗传算法的车间作业调度问题研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
TANG Tao. Research on JSP Scheduling Method Based on Petri Nets and Genetic Algorithm [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2009.

[6] WANG Luxi, TONG Yin, WANG Xiaomin. Modeling and Verification of Train Operation in Stations and Block Sections Using Petri Nets [C]. 2020 2nd International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI). October 23 – 25, 2020, Shenyang, China. IEEE, 2020: 1 – 6.

[7] 姚勋勋, 王宏刚. 基于 HCPN 的列车运行调度模型分析 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9 (4): 119 – 124.
YAO Xunxun, WANG Honggang. Analysis of Train Operation Schedule Model Based on Hybrid Colored Petri Net [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2011, 9 (4): 119 – 124.